

ІМПЕДАНСНА СПЕКТРОСКОПІЯ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ Si В ОБЛАСТІ ПЕРЕХОДУ МЕТАЛ-ДІЕЛЕКТРИК

**Дружинін А. О., д.т.н., професор; Островський І. П., д.т.н., доцент;
Ховерко Ю. М., к.т.н., с.н.с.; Корецький Р. М.**

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

На сьогодні низькорозмірні напівпровідникові структури, зокрема ниткоподібні кристали (НК) Si викликають значний інтерес через потенційне застосування в наноелектронних та сенсорних пристроях. Завдяки унікальним і привабливим властивостям (високі показники механічної міцності, пьезопору тощо) НК Si все частіше розглядаються як функціональні композиційні елементи для побудови принципово нових класів пристроїв та схем нано- та мікроелектроніки. Тому постає важливе завдання – моделювання, синтез та дослідження нових функціональних матеріалів на основі НК кремнію. Проте, у зв'язку з можливим впливом особливостей мікроструктури на перенесення носіїв заряду ці матеріали вимагають більш детального розгляду та досліджень з використанням як постійного, так і змінного струму. Тому вивчення частотної зміни електрофізичних властивостей НК з урахуванням їх реальної мікроструктури є важливим і актуальним завданням.

У цій роботі методом імпедансної спектроскопії досліджено НК кремнію з концентрацією легуючої домішки поблизу переходу метал-діелектрик (ПМД) в інтервалі низьких температур 4,2–70 K та частот 0,01–250 кГц за допомогою приладу *Lock-In Amplifier*. Для дослідження було відібрано чотири групи зразків з концентрацією домішки бору, що відповідає питомому опору зразків від металевого ($\rho_{300K}=0,0094$ Ом·см) до діелектричного ($\rho_{300K}=0,0168$ Ом·см) боку ПМД. Для кожного типу зразків отримано діаграми Найквіста та діаграми Бодде. Типова діаграма Найквіста для зразків із питомим опором ($\rho_{300K}=0,0168$ Ом·см) наведена на рис.1.

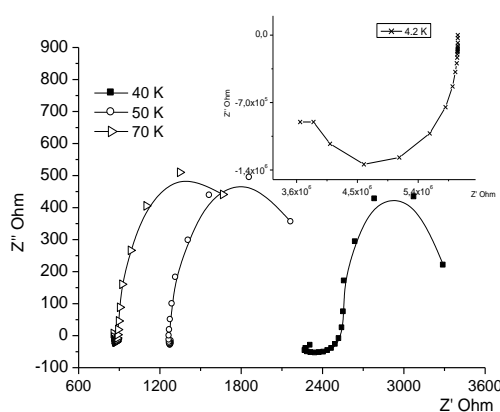


Рис.1. Діаграма Найквіста для НК

Для зразків з концентрацією домішок, що відповідає металевому боку ПМД діаграма Найквіста має індуктивний характер опору в усьому вимірюваному інтервалі температур 4,2–70 K. Варто зауважити, що на діаграмі Найквіста для таких зразків максимальний індуктивний характер опору спостерігається за 4,2 K і з підвищенням темпера-

тури.

тури ця залежність зменшується. В той же час для зразків з концентрацією домішок, яка відповідає діелектричному боку ПМД, на діаграмі Найквіста за температури 4,2 К проявляється ємнісний характер опору [1] (рис.1 вставка), причому зі зменшенням концентрації домішки має місце підвищення ємнісної складової опору.

На основі аналізу діаграм Бодде встановлено, що в зразках з металевим характером провідності з підвищенням частоти збільшується опір у всьому температурному діапазоні, а максимум діелектричних втрат відповідно до графічних залежностей $\text{tg}\delta(\omega)$ припадає на частоти ~ 100 кГц. В той же час для діелектричних зразків в низькотемпературній ділянці із підвищенням частоти відбувається зменшення опору, а тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta(\omega)$ в частотному діапазоні 10^3 – 10^6 Гц стає від'ємним. При цьому в діапазоні частот близьких до 100 кГц за 4,2 К спостерігається резонансний характер зміни тангенса кута діелектричних втрат.

При віддаленні зразків від ПМД в діелектричний бік розширюється температурний інтервал, в якому проявляється резонанс за низьких температур. З підвищенням температури ($T > 20$ – 30 К) в діелектричних зразках характер діаграм Бодде змінюється — частотні залежності опору стають подібними на відповідні частотні залежності зразків з металевим характером провідності; тангенс кута діелектричних втрат стає додатним. Відмінністю таких зразків від металевих зразків є чітко виражений резонансний характер зміни тангенса кута діелектричних втрат з температурою, причому частота максимальних діелектричних втрат зростає з підвищенням температури.

Отже, на основі проведених вимірювань встановлено, що характер уявної складової імпедансу НК кремнію суттєво залежить від ступеня наближення зразків до ПМД. Зокрема, в інтервалі низьких температур 4,2–20 К у зразках з діелектричного боку ПМД виявлено ємнісний, а у зразках з металевого боку ПМД — індуктивний характер реактивної складової опору на діаграмі Найквіста. Ємнісний характер імпедансу в НК Si у діелектричних зразках за низьких температур пояснюється особливостями стрибкової провідності носіїв заряду по домішковій зоні, що супроводжується процесами перезарядки домішкових центрів під час руху носіїв заряду під дією змінного струму високої частоти. Виявлений максимум на частотних залежностях тангенса кута діелектричних втрат у зразках з діелектричного боку ПМД зумовлений взаємодією з фононами, яка найсильніше проявляється в області механічного резонансу, що має місце на частотах ~ 70 – 100 кГц в інтервалі низьких температур для НК Si.

Література

1. Аверкиев Н. С. Частотная зависимость емкости в структурах на основе пористого кремния / Н. С. Аверкиев, Л. М. Капитонова, А. А. Лебедев // ФТТ.— 1996.— № 12.— С. 2178 — 2182.